

Aus dem Physiologischen Institut
der
Johannes Gutenberg - Universität Mainz

Korrigierte Atemgas - pH - Nomogramme für das maternale und fetale
Blut zum Zeitpunkt der Geburt

Inaugural - Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde der Medizin
der Johannes Gutenberg - Universität Mainz
den Medizinischen Fachbereichen vorgelegt

von

Heiner Thomé

aus Worms

1973



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554426_0017

Aus dem Physiologischen Institut
der
Johannes Gutenberg - Universität Mainz

Korrigierte Atemgas - pH - Nomogramme für das maternale und fetale
Blut zum Zeitpunkt der Geburt

Inaugural - Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde der Medizin
der Johannes Gutenberg - Universität Mainz
den Medizinischen Fachbereichen vorgelegt

von

Heiner Thomé

aus Worms

1973



Fachbereichsdekan: Professor Dr. O. Harth

Referent: Professor Dr. Dr. G. Thews

Korreferent: Professor Dr. Dr. J. Grote

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
I. Einleitung	1
II. Begründung für die Korrektur der Nomogramme	2
III. Korrigierte O_2 - Bindungskurven des maternalen und fetalen Blutes	5
IV. Korrigierte P_{CO_2} - pH - Beziehungen für das maternale und fetale Blut	11
V. Korrigierte Cartesianische Nomogramme für das maternale und fetale Blut	14
VI. Korrigierte Leitermomogramme für das maternale und fetale Blut	17
a) Konstruktion der Nomogramme	
b) Benutzung der Nomogramme	
VII. Bedeutung der Nomogramme für die Analyse des placentaren Gasaustausches	24
VIII. Zusammenfassung	27
IX. Literatur	

I. Einleitung

Der Austausch der Atemgase zwischen mütterlichem und fetalem Blut in der menschlichen Placenta erfolgt durch Diffusion in dem Zeitraum, in dem das maternale Blut die intervillösen Räume und das fetale Blut die villösen Capillaren durchströmt. Um diese Effekte beurteilen zu können, ist die quantitative Kenntnis der austauschbestimmenden Parameter notwendig, und zwar sind dies die Bedingungen der Strombahnsysteme, die Diffusionsbedingungen für Sauerstoff und Kohlendioxyd, die jeweiligen O_2 - und CO_2 -Partialdrucke, der Säure - Basen - Status des mütterlichen und fetalen Blutes, die Lage der O_2 - und CO_2 -Bindungskurven und der jeweilige Hämoglobingehalt. Eine besondere Rolle spielen in der menschlichen Placenta die als Bohr- und Haldane - Effekt bekannten wechselseitigen Beziehungen zwischen O_2 - und CO_2 -Bindung, da sie hier gewissermaßen zweimal, im mütterlichen sowie im fetalen Anteil des Systems, zur Geltung kommen.

Eine genaue Untersuchung des Gasaustausches in der menschlichen Placenta wurde von THEWS und Mitarbeitern (1965 b) vorgenommen. Damals wurden für das mütterliche wie für das fetale Blut die vollständigen Scharen der Sauerstoffbindungskurven in Abhängigkeit vom pH-Wert aufgestellt sowie die Sauerstoffpartialdrucke und die Hämoglobingehalte bestimmt (VOGEL u. Mitarb. 1965). Ferner wurden die pH-Werte, die Kohlensäurepartialdrucke und der Standardbicarbonatgehalt ermittelt sowie der Säure-Basen - Status des mütterlichen und fetalen Blutes untersucht (FISCHER u. Mitarb. 1965). In dieser Arbeit wurden auch die vollständigen CO_2 -Bindungskurven bei unterschiedlicher O_2 -Sättigung und die O_2 -sättigungsabhängigen $\log P_{CO_2}$ -pH-Geraden konstruiert.

Zur schnellen quantitativen Bestimmung der Blutgas - pH - Werte im maternalen wie im fetalen Blut, deren Kenntnis zur Analyse des Gasaustausches in der Placenta notwendig ist, erstellten THEWS u. Mitarb. (1965 a) zwei Atemgas - pH - Nomogramme.

Die Analyse des Gasaustausches in der menschlichen Placenta schließlich hatte eine Arbeit von THEWS u. Mitarb. (1965 b) zum Inhalt, deren Ergebnisse die Annahme eines multivillösen Strombahnsystems als gerechtfertigt erscheinen ließen.

In der Zwischenzeit sind in der Literatur jedoch neue Daten zur Sauerstoffbindung des mütterlichen und fetalen Hämoglobins und zu den P_{CO_2} - pH - Beziehungen im Blut von Mutter und Fet bekannt geworden, die mit den damaligen Angaben nicht in allen Punkten übereinstimmen. Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die erneute Festlegung der pH - abhängigen O_2 - Bindungskurvenscharen, die Darstellung der P_{CO_2} - pH - Abhängigkeit unter Berücksichtigung der O_2 - Sättigung und die Korrektur der Atemgas - pH - Nomogramme für das Blut von Mutter und Fet unter der Geburt.

II. Begründung für die Korrektur der Nomogramme

Einen charakteristischen Wert für die Sauerstoffbindungskurve stellt derjenige O_2 - Druck dar, bei dem das Hämoglobin zur Hälfte mit O_2 gesättigt ist (Halbsättigungsdruck, T_{50} - Wert). Bei den Sauerstoffbindungskurven des maternalen und fetalen Blutes wurde von VOGEL und Mitarb. (1965) bei einem CO_2 - Druck von 40 [mmHg] ein mittlerer T_{50} - Wert von 28,7 [mmHg] bzw. 24,2 [mmHg] gemessen. In der genannten Untersuchung wurden auch die Werte bei der Bezugsgröße pH = 7,4 angegeben und zwar 24,0 [mmHg] für das maternale und 20,0 [mmHg] für das fetale Blut.

Durch die Diskrepanz dieser Werte zu den in den letzten Jahren von verschiedenen Autoren angegebenen Halbsättigungsdrucken, wie sie in Tabelle 1 ersichtlich wird, ist die Veranlassung gegeben zu einem kritischen Vergleich aller Angaben bei gleicher Bezugsgröße und einer darauf basierenden Festlegung der Sauerstoffbindungskurven.

Ebenfalls als korrekturbedürftig erwiesen sich die Darstellungen der P_{CO_2} - pH - Abhängigkeit von FISCHER u. Mitarb. (1965). In einer Arbeit von v. MENGDEN u. Mitarb. (1969) wurde die Abhängigkeit des pH - Wertes im Plasma von der Sauerstoffsättigung untersucht. Die Autoren stellten eine Zunahme der pH - Differenz zwischen oxygeniertem und desoxygeniertem Blut bei Abnahme des CO_2 - Druckes und bei höherem Hämoglobingehalt fest. Die Ergebnisse werden quantitativ durch die folgenden Beziehungen wiedergegeben:

$$(1) \quad \Delta pH_s = (8 - pH_{ox} - \log 0,03 P_{CO_2}) \cdot \frac{[Hb]}{225} \cdot \frac{(100 - S_{O_2})}{100}$$

Hierin bedeuten:

- ΔpH_s die Plasma-pH-Differenz zwischen teilweise und vollkommen oxygeniertem Blut,
- pH_{ox} der pH - Wert bei vollkommen oxygeniertem Blut,
- P_{CO_2} der CO_2 -Druck in mmHg,
- Hb die Hämoglobinkonzentration in g/100 ml
- S_{O_2} die Sauerstoffsättigung in %

Auf die Untersuchungen von FISCHER u. Mitarb. (1965) angewandt, entsteht durch die oben genannte Formel eine Diskrepanz, die eine Korrektur der damaligen Darstellungen notwendig erscheinen läßt. In der Zwischenzeit ist die O_2 - Abhängigkeit neu in die $\log P_{CO_2}$ - pH - Diagramme aufgenommen worden (THEWS u. VOGEL, 1971).

Die Tatsache, daß die Sauerstoffbindungskurven und die P_{CO_2} - pH - Geraden die Grundlage bildeten für die Erstellung der Atemgas - pH - Nomogramme, macht es deutlich, daß eine Korrektur dieser Kurven die Veranlassung gibt für die erneute Konstruktion der Atemgas - pH - Nomogramme.

Tab. 1: T_{50} - Werte (in mmHg) der in der Literatur angegebenen O_2 - Bindungskurven des maternalen und fetalen Blutes (n = Anzahl der untersuchten Fälle)
(vgl. VOGEL u. Mitarb. 1965, Literatur vor 1965 siehe dort)

Autoren	Jahr	n	Bezugsgröße		
			T ₅₀ [mmHg]	P _{CO₂} [mmHg]	pH
<u>Schwangere</u>					
Eastman u. Mitarb.	1933	-	32,0	40,0	
Prystowski u. Mitarb.	1959	19	25,0		7,35
Hellegers u. Mitarb.	1961	12	26,2		7,4
Wulf	1962	63	30,7		7,433
<u>Vogel u. Mitarb.</u>	1965	41	28,7	40,0	gemessen
Vogel u. Mitarb.			24,0		7,4 berechnet
Bartels	1966	-	23,1		7,4
Wulf u. Mitarb.	1966	150	26,3	40,0	
Bauer u. Mitarb.	1969	8	30,5		7,4
Lehmann	1969	31	26,4	40,0	
<u>Feten</u>					
Eastman u. Mitarb.	1933	-	25,0	40,0	
Leibson u. Mitarb.	1936	10	24,0	40,0	
Sax u. Mitarb.	1938	12	23,0	40,0	
Darling u. Mitarb.	1941	2	21,6		7,4
Beer u. Mitarb.	1955	8	22,0		7,4
Prystowski u. Mitarb.	1959	12	21,0		7,4
Prystowski u. Mitarb.	1959a	15	19,0		7,4
Roth u. Mitarb.	1959	42	20,0		7,4
Hellegers u. Mitarb.	1961	12	20,0		7,4
Wulf	1962	63	23,7		7,433
<u>Vogel u. Mitarb.</u>	1965	41	24,2	40,0	gemessen
Vogel u. Mitarb.			20,0		7,4 berechnet
Bartels	1966	-	20,7		7,4
Wulf u. Mitarb.	1966	115	23,1	40,0	
Lehmann	1968	31	23,4	40,0	
Bauer u. Mitarb.	1969	8	22,9		7,4
Lehmann	1969	30	23,7	40,0	

III. Korrigierte O_2 - Bindungskurven des maternalen und fetalen Blutes

Da die von VOGEL u. Mitarb. (1965) angegebenen T_{50} - Werte Abweichungen zu den Angaben der Literatur aufweisen, wurden aus der neueren Literatur die entsprechenden Werte zusammengestellt (Tab. 1, nach 1965). Die bei verschiedenen Bezugsgrößen gemachten Angaben wurden, soweit es nicht schon der Fall war, auf eine gemeinsame Bezugsgröße von $pH = 7,4$ umgerechnet, um die Werte genau miteinander vergleichen zu können (Tab. 3). Voraussetzung für die Umrechnung waren Angaben über den Säure - Basen - Status, wie Standardbicarbonatgehalt, Basenüberschuß, aktueller pH und aktueller P_{CO_2} (Tab. 2). Die Umrechnung erfolgte einmal auf graphischem Wege mit Hilfe des Nomogrammes von SIGGAARD-ANDERSEN (1962) und zur Kontrolle andererseits mit Hilfe der Gleichung von HENDERSON-HASSELBALCH:

$$(2) \quad pH = 6,1 + \log \frac{[HCO_3^-]}{0,03 \cdot P_{CO_2}}$$

In einem Fall, in dem keine Angaben über den Standardbicarbonatgehalt vorhanden waren (LEHMANN 1969), erfolgte die Umrechnung unter Verwendung der übrigen Säure - Basen - Werte mit Hilfe des Nomogrammes von SIGGAARD-ANDERSEN.

Die weitere Umrechnung auf einen pH von 7,4 wurde mit einer von SEVERINGHAUS (1966) angegebenen Formel, die auf DILL u. Mitarb. (1940) zurückgeht, durchgeführt:

$$(3) \quad \Delta \log P_{O_2} = 0,48 \Delta pH$$

Darin bedeuten: $\Delta \log P_{O_2}$ die Änderung des Logarithmus des Sauerstoffdruckes,
 ΔpH die Änderung des pH - Wertes

Für das maternale Blut wurde der von VOGEL u. Mitarb. (1965) angegebene T_{50} - Wert auf Grund nur geringer Abweichung von den übrigen Literaturangaben als zutreffend angenommen (s. Tab. 3) und wegen der genügenden Anzahl der Fälle (41), beibehalten. Anders ist es bei dem Halbsättigungsdruck für das fetale Blut. Dieser liegt mit $20,0 [mmHg]$ etwas zu niedrig gegenüber dem Durchschnitt der neueren Daten.

Es wurde deshalb aus den Werten, die nach 1965 erschienen sind und nahe beieinander liegen, (LEHMANN, 1968, 1969, BAUER u. Mitarb. 1969) unter Berücksichtigung der Anzahl der Fälle ein Mittelwert gebildet, der einen T_{50} von $22,0 \text{ [mmHg]}$ ergibt. Somit wurden zur Neudarstellung der Sauerstoffbindungskurven T_{50} - Werte von $24,0 \text{ [mmHg]}$ für das mütterliche und von $22,0 \text{ [mmHg]}$ für das fetale Blut angenommen bei einer Bezugsgröße von $\text{pH} = 7,4$.

Ausgehend von dem von VOGEL u. Mitarb. (1965) angegebenen Halbsättigungsdruck für das maternale Blut wurde unter Berücksichtigung der Ergebnisse von GROTE (1971) (Atemgas-pH - Nomogramm für das normale menschliche Blut bei $T = 37^{\circ} \text{C}$) die Sauerstoffbindungskurve bei $\text{pH} = 7,4$ neu konstruiert (Abb. 1). Nach dem gleichen Verfahren wurde für das fetale Blut, ausgehend von dem oben genannten Halbsättigungsdruck, die entsprechende Bindungskurve neu ermittelt (Abb. 2).

Mit der von DILL u. Mitarb. (1940) sowie SEVERINGHAUS (1966) angegebenen Formel (s. Gleichung 3) wurden die Werte für die übrigen Kurven der Scharen bei $\text{pH} = 7,5$ bis $\text{pH} = 7,0$ errechnet.

Die Kurven für das mütterliche Blut können zur Beurteilung des O_2 - Austausches in der Lunge der Mutter und in der Placenta und für das fetale Blut zur Beurteilung der O_2 - Aufnahme und Abgabe in der Placenta bzw. in den Organen des Feten verwandt werden. Sie gelten für den Zeitpunkt der Geburt, bestenfalls für die letzte Phase der Schwangerschaft. Zu beachten ist eine Temperatur von 37°C . Durch Abweichungen von einer mittleren Hb-Konzentration von 12 [g/100 ml] im Blut der Mutter sind geringfügige Verlagerungen der maternalen Kurven möglich. Ebenso kann eine geringfügige Verlagerung der fetalen Kurven bei Abweichung von einer mittleren Hb-Konzentration von 16 [g/100 ml] im fetalen Blut auftreten.

Tab. 2: Angaben über den Säure - Basen - Status von mütterlichem und fetalem Blut
in Arbeiten nach 1965, bei denen eine Umrechnung des angegebenen T_{50} -
Wertes auf eine Bezugsgröße von $pH = 7,4$ nötig war.

Autoren	Jahr	P_{CO_2} [mmHg]	pH	BE [mÄq/l]	Standard HCO_3^- [mÄq/l]
Schwangere					
Wulf u. Mitarb.	1966		keine Angaben		
Lehmann	1969	30,3	7,38	4,5	20,3
Feten					
Wulf u. Mitarb.	1966		keine Angaben		
Lehmann	1968	35,4	7,36	-2,81	21,7
Lehmann	1969	39,8	7,31	-6,5	keine Angabe

Tab. 3: Vergleichbare T_{50} - Werte (teilweise nach Umrechnung auf eine gemeinsame Bezugsgröße) in mmHg in der Literatur nach 1965 bei pH = 7,4 als Bezugsgröße (n = Anzahl der untersuchten Fälle) vgl. auch Tab. 1.

Autoren	Jahr	n	T_{50} [mmHg]
Schwangere			
<u>Vogel u. Mitarb.</u>	1965	41	24,0
Bartels	1966	-	23,1
Bauer u. Mitarb.	1969	8	30,5
Lehmann	1969	31	24,4 (errechnet)
Feten			
<u>Vogel u. Mitarb.</u>	1965	41	20,0
Bartels	1966	-	20,7
Lehmann	1968	31	22,3 (errechnet)
Bauer u. Mitarb.	1969	8	22,9
Lehmann	1969	30	21,4 (errechnet)

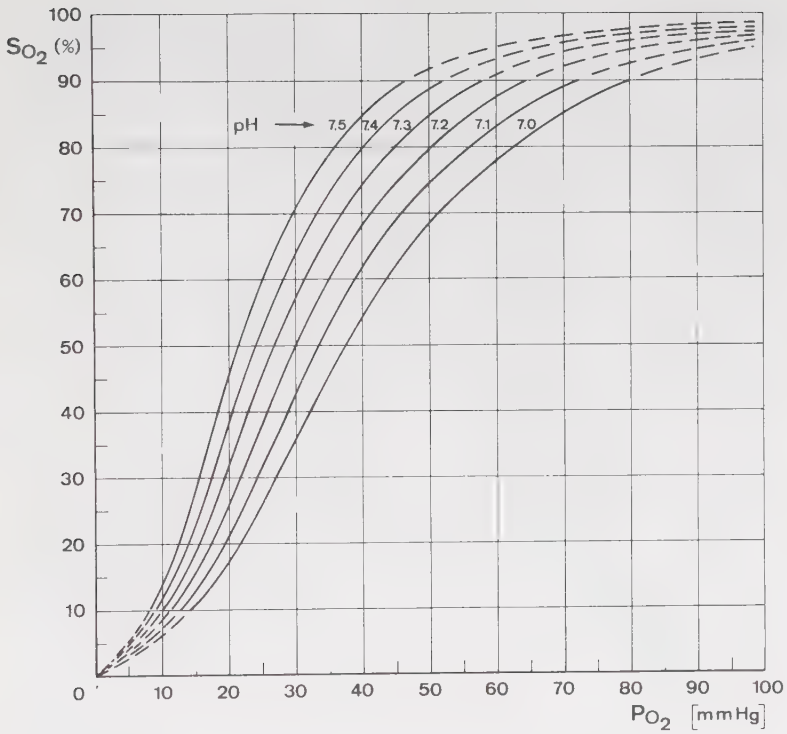


Abb. 1: Schar der pH abhängigen O_2 - Bindungskurven für das maternale Blut.

Abzisse: $P_{O_2} = O_2$ - Druck, Ordinate: S_{O_2} = Sauerstoffsättigung,

Parameter der Kurven: pH, $T = 37^\circ\text{C}$.

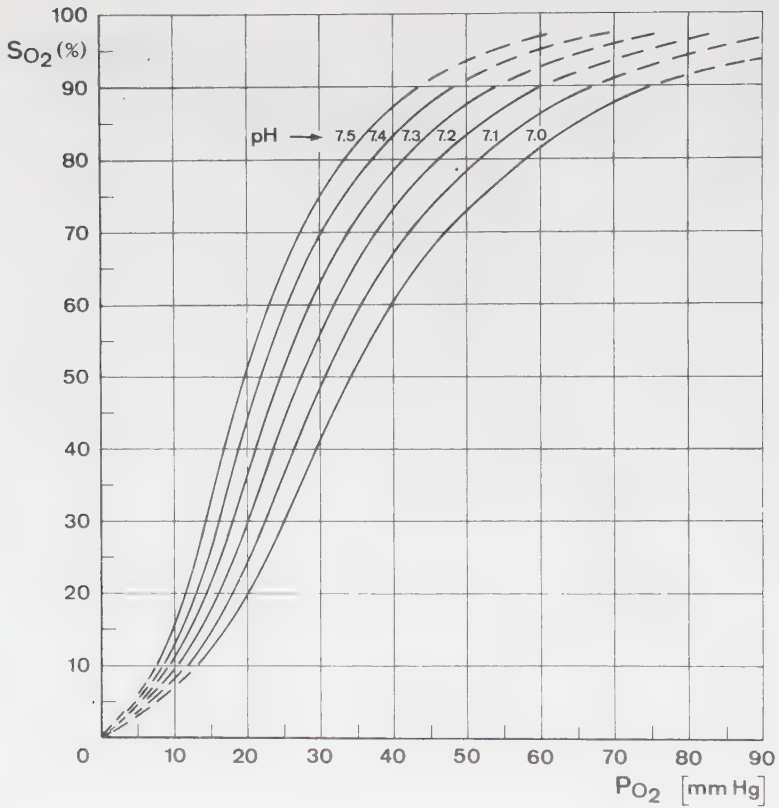


Abb. 2: Schar der pH - abhängigen O_2 - Bindungskurven für das fetale Blut.

Abszisse: P_{O_2} = Sauerstoffdruck, Ordinate: S_{O_2} = Sauerstoffsättigung,
Parameter der Kurven: pH. $T = 37^\circ\text{C}$.

IV. Korrigierte P_{CO_2} - pH - Beziehungen für das maternale und fetale Blut

Um die Analyse des placentaren O_2 - und CO_2 - Austausches koordinieren zu können, war es notwendig, eine Darstellung zu finden, die den Zusammenhang zwischen O_2 - und CO_2 - Bindung und dem pH - Wert enthält. In einer Arbeit von FISCHER u. Mitarb. (1965), die die Untersuchung der CO_2 - Drucke und des vollständigen Säure - Basen - Status im Blut von Mutter und Fet zum Zeitpunkt der Geburt zum Gegenstand hat, wurden von je 54 Blutproben die P_{CO_2} - pH - Geraden mit Hilfe des Mikro - Astrup - Verfahrens aufgestellt (durch Äquilibrieren mit drei Gasgemischen: $P_{CO_2} = 30, 50$ und 70 mmHg). Die Abhängigkeit der Geraden von der O_2 - Sättigung wurde nach Angaben von VAN SLYKE u. Mitarb. (1932) und von SIGGAARD - ANDERSEN und ENGEL (1960) ermittelt und die Schar der Geraden in das $\log P_{CO_2}$ - pH - Koordinatennetz eingetragen.

In der Zwischenzeit ist durch neue Ergebnisse von v. MENGDEN u. Mitarb. (1969) (s. Gleichung 1) zu den älteren Darstellungen von FISCHER u. Mitarb. (1965) eine Diskrepanz entstanden, die eine Korrektur notwendig erscheinen läßt. Mit Hilfe der Gleichung (1) wurden die Kurvenscharen zu den P_{CO_2} - pH - Beziehungen inzwischen neu konstruiert (THEWS u. Mitarb. 1971). Die Geraden sind in Abb. 3 und 4 dargestellt.

Sie gelten für das mütterliche und fetale Blut am Ende einer normalen Spontangeburt bei einer Temperatur von $37^\circ C$, bei einem BE von -10 [mÄq/l] und bei einer Hb - Konzentration von 12 [g/100 ml] im mütterlichen Blut sowie einem BE von $10,5 \text{ [mÄq/l]}$ und einer Hb - Konzentration von 16 [g/100 ml] im fetalen Blut. Die Hb - Konzentration und die Temperatur beeinflussen den Kurvenverlauf nur geringfügig, Abweichungen vom Mittelwert des Basendefizits bewirken jedoch voll eine Parallelverlagerung der Geraden (vgl. THEWS u. VOGEL 1971).

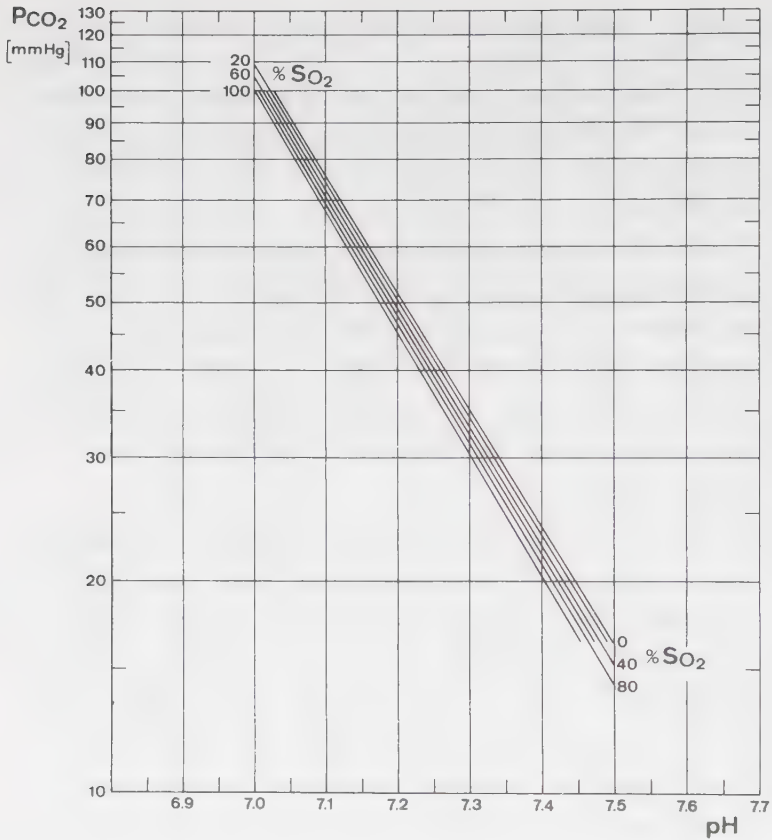


Abb. 3: O_2 - sättigungsabhängige P_{CO_2} - pH - Geraden für das maternale Blut (nach THEWS u. VOGEL, 1971). Abszisse: pH - Wert, Ordinate: $P_{CO_2} = CO_2$ - Druck (Einheiten logarithmisch), als Parameter der Geraden geht die O_2 - Sättigung (S_{O_2}) in die Darstellung ein.

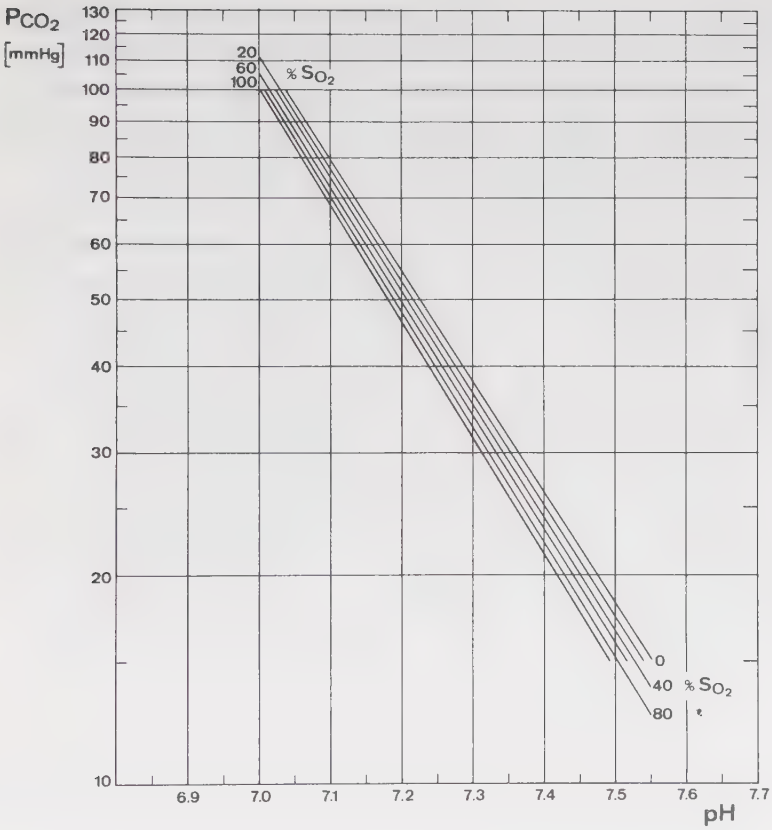


Abb. 4: O_2 - sättigungsabhängige P_{CO_2} - pH - Geraden für das fetale Blut (nach THEWS u. VOGEL 1971), Abszisse: pH - Wert, Ordinate: $P_{CO_2} = CO_2$ - Druck (Einteilung logarithmisch), Parameter = O_2 - Sättigung (S_{O_2})

V. Korrigierte Cartesianische Nomogramme für das maternale und fetale Blut

Die Beziehungen zwischen P_{O_2} , S_{O_2} , P_{CO_2} und pH im mütterlichen und fetalen Blut, deren Kenntnis zur Analyse des Gasaustausches in der menschlichen Placenta nötig ist, können für normale Spontangeburt aus den Abbildungen 1 bis 4 entnommen werden. Es erschien jedoch zweckmäßig, eine Darstellung zu konstruieren, die den Zusammenhang zwischen all diesen Größen enthält, zumal die Koppelung von O_2 - und CO_2 -Druck Ausdruck für eine wechselseitige Beeinflussung im Sinne von Bohr- und Haldane-Effekt ist. Eine Verknüpfung von P_{CO_2} und S_{O_2} einerseits ist möglich durch Beziehung von beiden Faktoren zum pH - Wert, wie dies schon in den Abbildungen 3 und 4 dargestellt ist. Die Beziehungen zwischen P_{O_2} und S_{O_2} und pH andererseits stellen die Sauerstoffbindungskurven dar. Wenn man bestimmte pH - Werte bei bestimmter O_2 - Sättigung vorgibt, kann man im P_{CO_2} - pH - Diagramm die zugehörigen P_{CO_2} - Werte ablesen. Nachdem dies für pH - Werte von 7,10 bis 7,50 (jeweilige Differenz: 0,02) und S_{O_2} - Werte von 5 bis 95 [%] (jeweilige Differenz: 5 %) beim maternalen Blut durchgeführt war, wurden in den Sauerstoffbindungskurven für die gleichen pH- und S_{O_2} - Werte die entsprechenden O_2 - Drucke aufgesucht. Für in den Kurvenscharen nicht enthaltene pH - Zwischenwerte wurden die P_{O_2} - Werte mit Hilfe der Formel (3) interpoliert. Ebenso wurden für pH - Werte von 7,06 bis 7,40 (Differenz: 0,02) und S_{O_2} - Werte von 5 bis 90 [%] (Differenz: 5%) beim fetalen Blut die zugehörigen P_{CO_2} - Werte aufgesucht und in den O_2 - Bindungskurven die O_2 - Drucke ermittelt. Damit waren nun alle vier genannten Größen jeweils in einer Wertetabelle enthalten.

Nun wurden im linearen Koordinatensystem die Werte von P_{CO_2} und P_{O_2} in Abhängigkeit von der O_2 - Sättigung und dem pH - Wert eingetragen und somit die Cartesianischen Nomogramme für das maternale und fetale Blut konstruiert. Die Nomogramme sind in Abbildung 5 und 6 dargestellt.

Sie eignen sich als Hilfsmittel zur Analyse des Gasaustausches und des mütterlichen und fetalen Säure - Basen - Status in der menschlichen Placenta. Bei bekannten O_2 - und CO_2 -Drucken können die O_2 - Sättigung und der pH - Wert ermittelt werden. Die Nomogramme gelten für den Zeitpunkt der Geburt, wobei eine Temperatur von 37°C zu beachten ist.

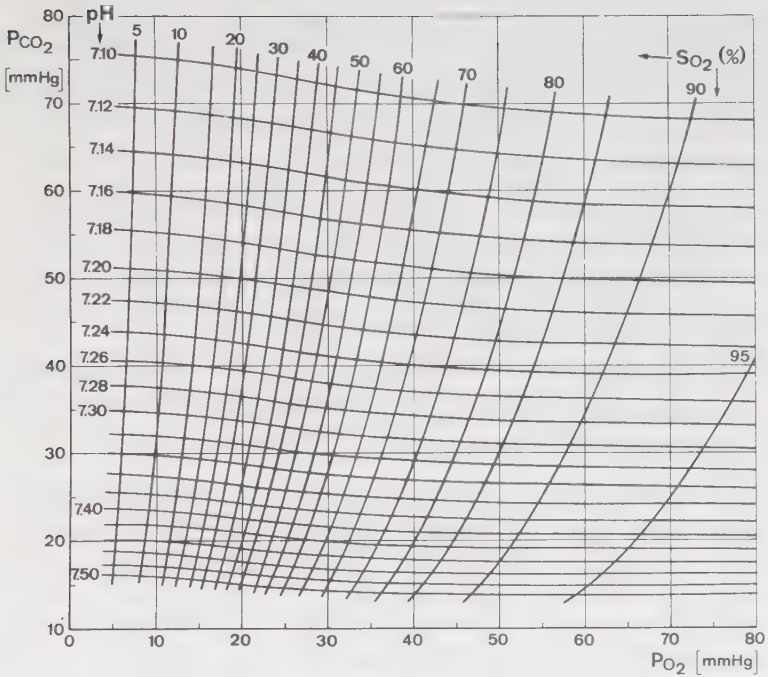


Abb. 5: Cartesianisches Nomogramm für die wechselseitige Abhängigkeit von O_2 -

Druck, CO_2 - Druck, O_2 - Sättigung und pH im maternalen Blut.

Abszisse: $P_{O_2} = O_2$ - Druck, Ordinate: $P_{CO_2} = CO_2$ - Druck,

Parameter der Kurven: pH, O_2 - Sättigung (S_{O_2}). $T = 37^\circ C$.

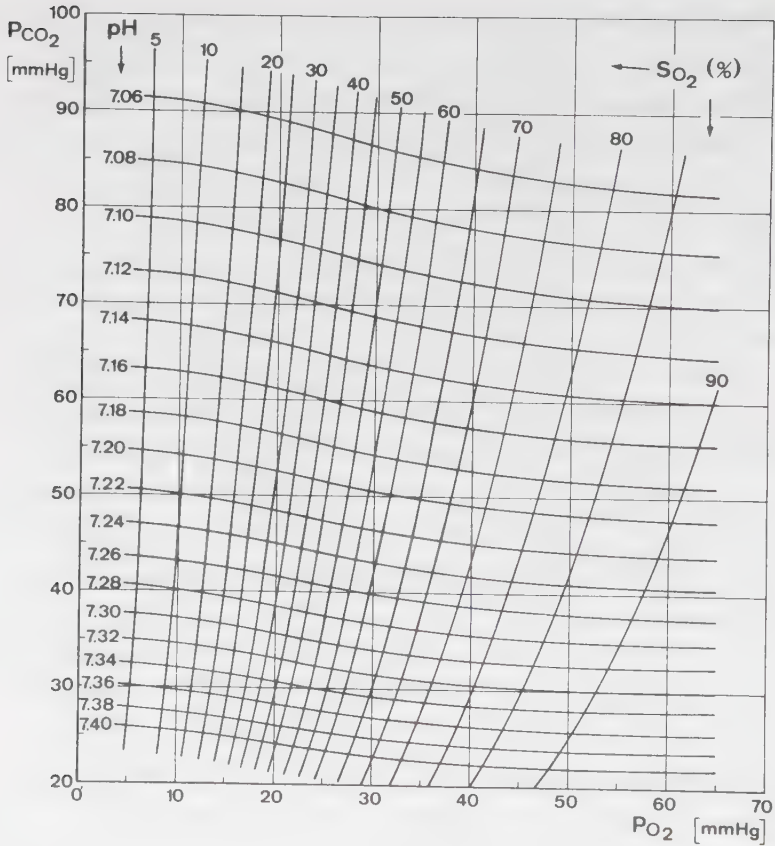


Abb. 6: Cartesianisches Nomogramm für die wechselseitige Abhängigkeit von O_2 - Druck, CO_2 - Druck, O_2 - Sättigung und pH im fetalen Blut.
 Abszisse: $P_{O_2} = O_2$ - Druck, Ordinate: $P_{CO_2} = CO_2$ - Druck, Parameter der Kurven: pH, O_2 - Sättigung (S_{O_2}). $T = 37^\circ C$.

VI. Korrigierte Leiternomogramme für das maternale und fetale Blut

Die Cartesianischen Nomogramme für das maternale und fetale Blut beinhalten schon den gesuchten Zusammenhang zwischen den Atemgasgrößen und dem pH, sind jedoch für den praktischen Gebrauch noch nicht optimal. Besser eignen sich Darstellungen, wie sie HENDERSON (1928) erstmals für die Beziehungen zwischen den Atemgasgrößen im Blut des Erwachsenen in Form von Leiternomogrammen angegeben hat. Ähnliche Nomogramme wurden auch von HELLEGERS u. SCHRUEFFER (1961) verwendet, um die pH - Abhängigkeit der Sauerstoffbindungskurven im Blut von Mutter und Fet darzustellen. THEWS u. Mitarb. (1965 a) konstruierten zwei Leiternomogramme für sämtliche Atemgasgrößen und den pH - Wert im maternalen und fetalen Blut (vgl. THEWS und VOGEL 1971).

Eine solche Darstellung vereinfacht sehr das Aufsuchen der erforderlichen Daten bei der Analyse des Gasaustausches und des Transportes der Atemgase: Wenn zwei Größen durch Messung bekannt sind, so lassen sich die übrigen ohne besondere Rechnung allein durch Anlegen eines Lineals aus den Nomogrammen entnehmen.

Durch die Korrektur der Sauerstoffbindungskurven und der P_{CO_2} - pH - Geraden vom mütterlichen und fetalen Blut, die die Grundlage bildeten für die Konstruktion der von THEWS u. Mitarb. (1965 a) entwickelten Leiternomogramme, ist Veranlassung für eine Neudarstellung gegeben.

a) Konstruktion der Nomogramme

Führt man bei den Cartesianischen Nomogrammen eine Achsentransformation dergestalt durch, daß das Netz der Kurvenscharen zu einem Netz sich kreuzender Geraden wird, dann bilden die P_{O_2} - und P_{CO_2} -Achsen, in der nun vorliegenden Form nebeneinander angeordnet, das Grundgerüst der Leiternomogramme. Konstruiert man nun die Verbindungsgeraden der Wertepaare, die zu einem Parameter gehören, so kreuzen sich diese alle in einem Punkt, der dem numerischen Wert eben dieses Parameters entspricht. Somit entstehen eindimensionale Folgen der Parameter, die pH- und S_{O_2} -Leitern.

Die Konstruktion der Leitern für die CO_2 -Konzentrationen wurde nach dem von THEWS und Mitarb. (1965 a) angewandten Verfahren durchgeführt. Dabei fanden jedoch die neuen Berechnungsergebnisse von MÜCKENHOFF (1973) zum Verlauf von CO_2 - Bindungskurven in Abhängigkeit vom O_2 - Druck und vom Basenüberschuß Berücksichtigung.

Die Werte für den O_2 - Gehalt lassen sich aus der S_{O_2} - Leiter durch Umrechnung mit Hilfe der Hüfner'schen Zahl bestimmen. Dargestellt sind die Nomogramme in Abbildung 7 und 8.

b) Benutzung der Nomogramme

Die Leiternomogramme in Abbildung 7 und 8 haben eine Gültigkeit für das mütterliche bzw. fetale Blut zum Zeitpunkt der Geburt. Sie können der Untersuchung der Bedingungen für den Gasaustausch in der menschlichen Placenta am Ende der Schwangerschaft zugrunde gelegt werden. Sie stellen die wechselseitige Abhängigkeit von O_2 - Druck, O_2 - Sättigung, O_2 - Gehalt, CO_2 - Druck, CO_2 - Gehalt und pH dar. Bei Benutzung der Leiter für den O_2 - Gehalt ist eine mittlere Hämoglobinkonzentration von 12 [g/100 ml] im maternalen und von 16 [g/100 ml] im fetalen Blut zu beachten. Bei Abweichungen hiervon können jedoch die Nomogramme ebenfalls benutzt werden, wenn man in diesem Fall die O_2 - Gehalte über die O_2 - Sättigung berechnet.

Bei Veränderungen des normalen O_2 - und CO_2 - Bindungsverhaltens, wie sie unter pathologischen Verhältnissen vorkommen können, ist im Einzelfall zu prüfen, inwieweit die Nomogramme benutzt werden dürfen, ohne daß dadurch Fehler entstehen können.

Beispiele für die Anwendung der beiden Leiternomogramme werden in den Abbildungen 9 und 10 dargestellt. Dabei sind die Meßwerte zugrunde gelegt, wie sie sich im Mittel bei normalen Spontangeburt ergeben (s. auch Abb. 11). In der A. umbilicalis findet man unter diesen Bedingungen einen O_2 - Druck von 10 [mmHg] und einen pH - Wert von 7,204. Für die übrigen Atemgasgrößen lassen sich dann mit Hilfe der Geraden 1 in Abbildung 10 aus dem Nomogramm die folgenden Werte ablesen:

$\text{C}_{\text{O}_2} = 1,8 \text{ [Vol\%]}$, $\text{S}_{\text{O}_2} = 8,7 \text{ [\%]}$, $\text{P}_{\text{CO}_2} = 53,7 \text{ [mmHg]}$, $\text{C}_{\text{CO}_2} = 49,0 \text{ [Vol\%]}$. Entsprechend findet man mit den Meßwerten für die V. umbilicalis ($\text{P}_{\text{O}_2} = 22,4 \text{ mmHg}$ und $\text{pH} = 7,257$)

mit Hilfe der Geraden 2 in Abbildung 10 die Werte $C_{O_2} = 8,7 \text{ [Vol\%]}$, $S_{O_2} = 40,8 \text{ [\%]}$, $P_{CO_2} = 41,7 \text{ [mmHg]}$, $C_{CO_2} = 42,5 \text{ [Vol\%]}$.

Unter Berücksichtigung eines Kurzschlußblutanteils von 25% folgen hieraus die O_2 - und CO_2 -Konzentrationen im endvillösen Blut ($C_{O_2} = 11,0 \text{ Vol\%}$ und $C_{CO_2} = 40,3 \text{ Vol\%}$) sowie der Wert für den Respiratorischen Quotienten $R = 0,95$.

Für die Mutter wird unter der Geburt im arteriellen Blut ein O_2 -Druck von $90,0 \text{ [mmHg]}$ und ein pH-Wert von 7,338 gemessen. Geht man mit diesen Werten in das entsprechende Nomogramm (Abb. 9) ein, dann liefert die Verbindungsgerade 1 die übrigen gesuchten Daten: $C_{O_2} = 15,6 \text{ [Vol\%]}$, $S_{O_2} = 97,4 \text{ [\%]}$, $P_{CO_2} = 25,4 \text{ [mmHg]}$, $C_{CO_2} = 33,0 \text{ [Vol\%]}$. Berücksichtigt man weiterhin die Tatsache, daß nach theoretischen Untersuchungen (THEWS u. Mitarb. 1965 b) das Verhältnis der mütterlichen zur fetalen Placentadurchblutung etwa den Wert 1 hat, dann liegen auch die endintervillösen O_2 - und CO_2 -Konzentrationen fest ($C_{O_2} = 6,4 \text{ Vol\%}$ und $C_{CO_2} = 41,7 \text{ Vol\%}$). Diese Werte können nun wieder dazu benutzt werden, um die noch fehlenden Daten mit Hilfe des Nomogramms (Abb. 9, Gerade 2) zu bestimmen. Dabei findet: $P_{O_2} = 24,0 \text{ [mmHg]}$, $S_{O_2} = 39,5 \text{ [\%]}$, $P_{CO_2} = 37,5 \text{ [mmHg]}$, $pH = 7,270$. Der Respiratorische Quotient muß beim maternalen Gasaustausch wie auf der fetalen Seite wieder 0,95 betragen.

Die Genauigkeit der Darstellung ist größer als die kleinste auf den Leitern enthaltene Unterteilung. Die ausreichende Genauigkeit kann jedoch nur erzielt werden, wenn man für die Ausgangsgrößen zwei Werte auf weit voneinander entfernt liegenden Leitern wählt, beispielsweise einen γ_2 - und einen CO_2 - bzw. pH-Wert. Weiterhin ist bei der Messung der Ausgangswerte eine Temperatur von 37°C zu beachten.

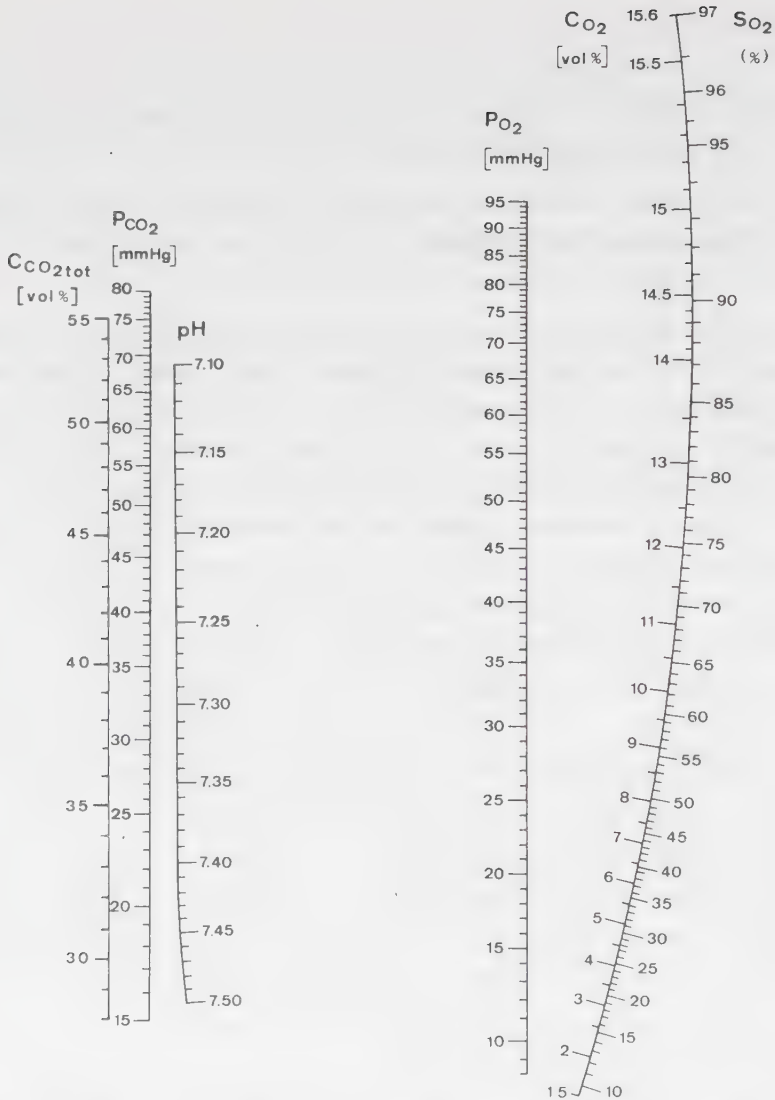


Abb. 7: Leiternomogramm für die Atemgasgrößen und den pH im maternalen Blut.

C_{CO_2} = Gesamt CO_2 - Gehalt, P_{CO_2} = CO_2 - Druck, pH = pH - Wert,
 P_{O_2} = O_2 - Druck, C_{O_2} = O_2 - Gehalt, S_{O_2} = O_2 - Sättigung. Die Kurven
 gelten für den Zeitpunkt der Geburt und für eine mittlere Hb- Konzentration
 von $12 \left[\frac{g}{100 \text{ ml}} \right]$, $T = 37^\circ C$.

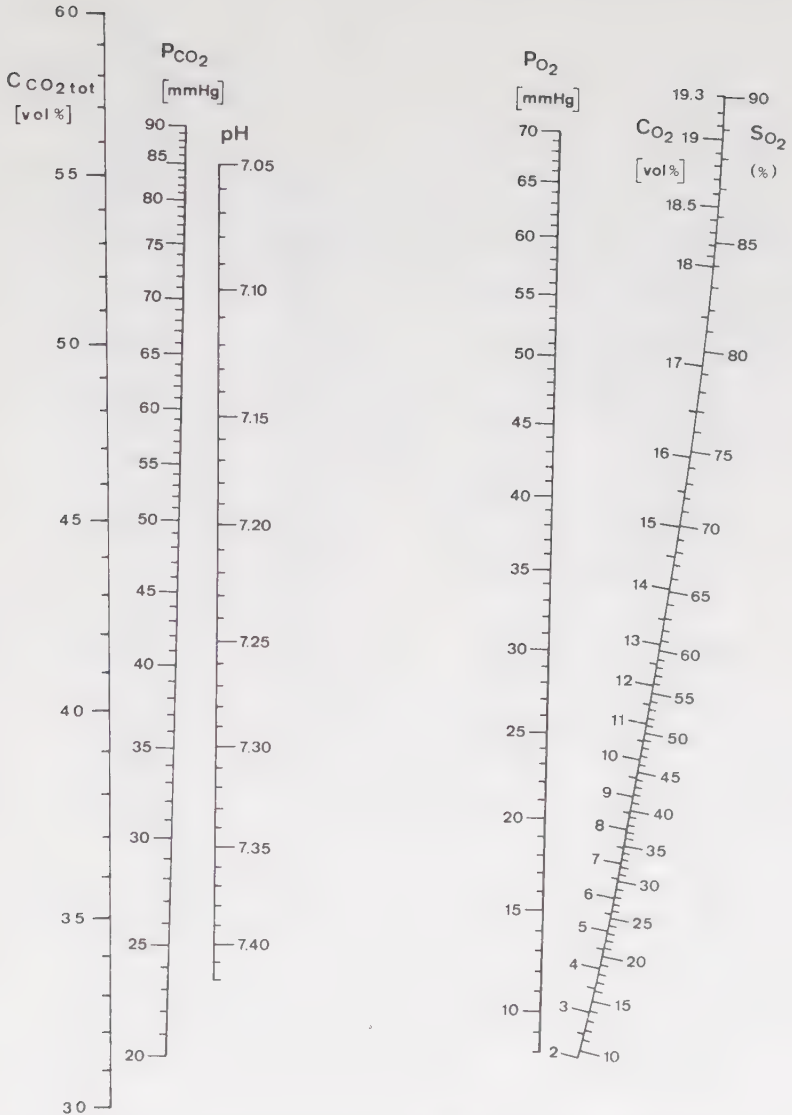


Abb. 8: Leiternomogramm für die Atemgasgrößen und den pH im fetalen Blut.

C_{CO_2} = Gesamt CO_2 - Gehalt, P_{CO_2} = CO_2 - Druck, pH = pH - Wert,
 P_{O_2} = O_2 - Druck, C_{O_2} = O_2 - Gehalt, S_{O_2} = O_2 - Sättigung. Die Kurven
 gelten für den Zeitpunkt der Geburt und für eine mittlere Hb - Konzentration
 von 15 [g/100 ml]. $T = 37^\circ C$.

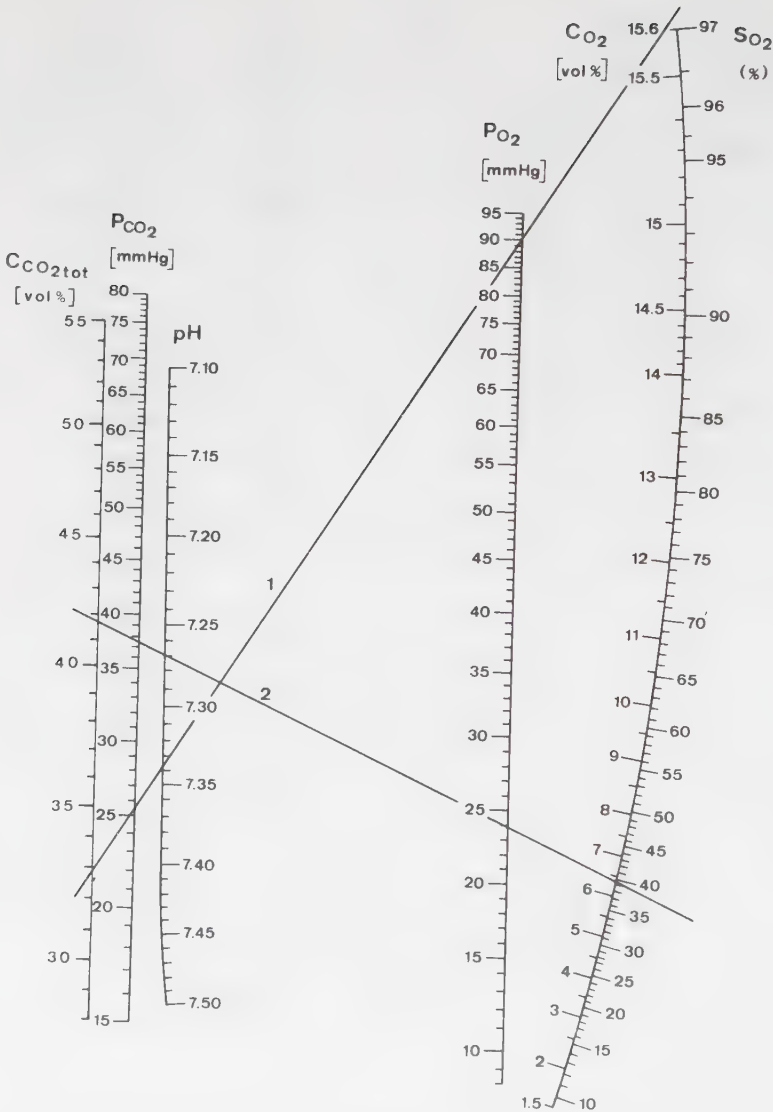


Abb. 9: Beispiel für die Benutzung des Atemgas-pH-Nomogramms für das maternale Blut. Der Bestimmung der Daten in der Arteria uterina (Gerade 1) wurden die Meßwerte von P_{O_2} und pH zugrunde gelegt. Die Werte im endintervillösen Blut (Gerade 2) lassen sich durch die berechneten O_2 - und CO_2 -Gehalte ermitteln.

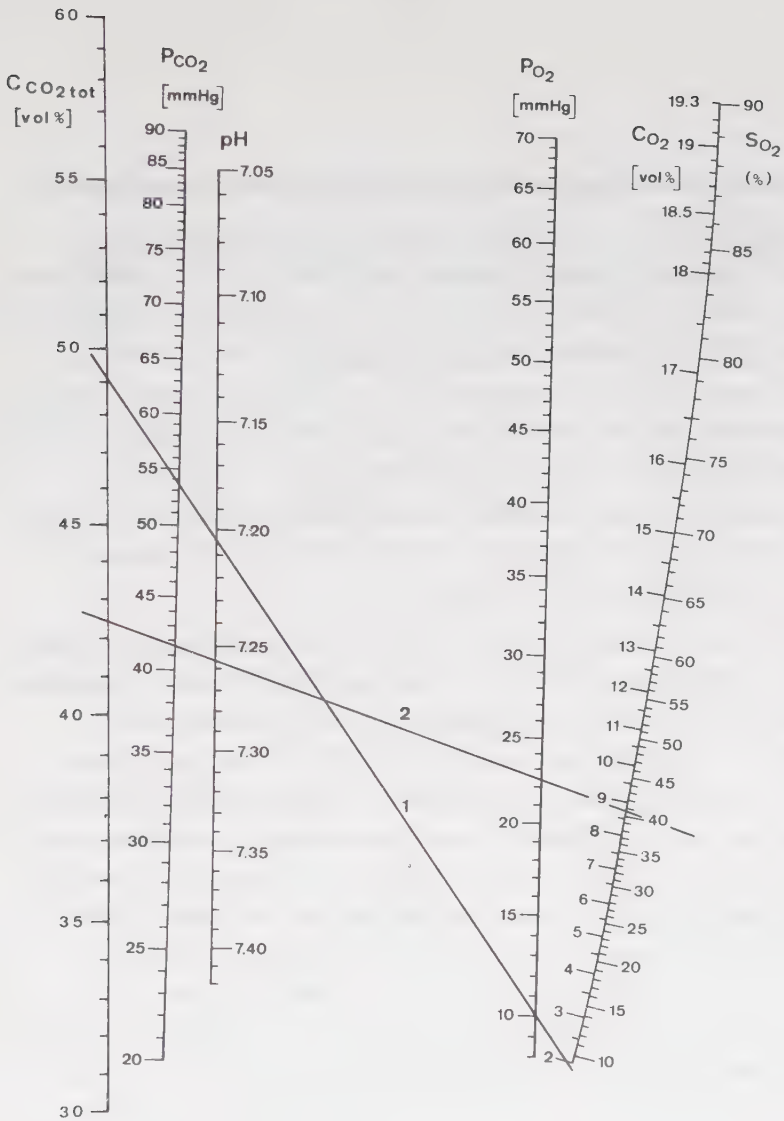


Abb. 10: Beispiel zur Benutzung des Atemgas - pH - Nomogrammes für das fetale Blut.
 Die Daten im Blut der A. umbilicalis (Gerade 1) und der V. umbilicalis (Gerade 2) lassen sich durch Messung von P_{O₂} und pH in den beiden Gefäßen ermitteln.

VII. Bedeutung der Nomogramme für die Analyse des placentaren Gasaustausches

Zum Zeitpunkt der Geburt sind die Arteria und Vena umbilicalis der Punktion zugänglich, und somit können die Blutgaswerte des fetalen Kreislaufes gemessen werden. Ebenso sind die Blutgaswerte in der Arteria uterina durch Messung im arterialisierten Blut aus dem Ohrläppchen der Mutter feststellbar. Werden nur jeweils zwei Werte gemessen, etwa der O_2 - Druck und der pH - Wert, so können die übrigen zur Analyse des placentaren Gasaustausches relevanten Daten mit Hilfe der vorliegenden Leiternomogramme auf einfache Weise ermittelt werden. Sind diese Größen nun bekannt, dann lassen sich die entsprechenden Werte im endvillösen und endintervillösen Blut unter Berücksichtigung des placentaren fetalen Shuntblutes über die prozentualen Anteile des O_2 - und CO_2 - Gehaltes berechnen.

Auf diese Weise ist es möglich, die Gasaustauschverhältnisse und den Säure - Basen - Status vom mütterlichen und fetalen Blut in der menschlichen Placenta zu analysieren. Am besten kann die Bedeutung der Nomogramme anhand der Meßergebnisse von VOGEL u. Mitarb. (1965) sowie von FISCHER u. Mitarb. (1965), die in Tabelle 4 zusammengefaßt sind, veranschaulicht werden. Diese Werte werden als Ausgangspunkt angenommen, von dem die übrigen unter den Bedingungen des placentaren Gasaustausches relevanten Daten mit Hilfe der Nomogramme zu ermitteln sind. Unter Berücksichtigung eines fetalen Kurzschlußblutanteiles von 25 % ergeben sich damit die in Abbildung 11 wiedergegebenen Werte, die zu den ursprünglich von THEWS u. Mitarb. (1971, 1965) angegebenen Daten zum Teil kleine Differenzen aufweisen. Die in Abbildung 11 dargestellten Verhältnisse dürfen heute für den Zeitpunkt der Geburt als am wahrscheinlichsten angesehen werden.

Tab. 4: Mittelwerte von Sauerstoffpartialdruck (P_{O_2}), pH und Hämoglobingehalt (C_{Hb}) von 41 bzw. 54 Meßwertgruppen in gleichzeitig gewonnenen Blutproben unter Standardbedingungen ($T = 37^\circ C$, CO_2 - Druck = 40 mmHg) (nach VOGEL u. Mitarb. 1965, bzw. FISCHER u. Mitarb., 1965)

	P_{O_2} [mmHg]	pH	C_{Hb} [g/100ml]
Mutter (arteriell)	90,0	7,338	12,0
Fet (Art. umbil.)	10,0	7,204	16,0
Fet (Ven. umbil.)	22,4	7,257	16,0

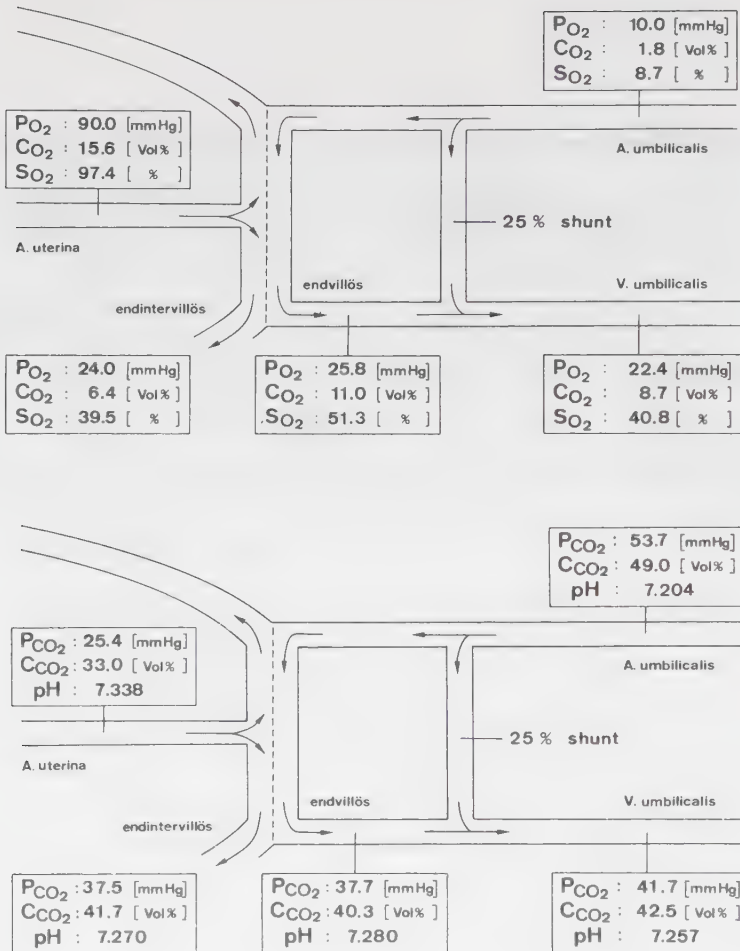


Abb. 11: Schema des placentaren Kreislaufes mit den Mittelwerten für O_2 - Druck, O_2 - Gehalt, O_2 - Sättigung (oben) und für CO_2 - Druck, CO_2 - Gehalt und pH - Wert (unten) im maternalen und fetalen Blut zum Zeitpunkt der Geburt. Die Werte der Arteria und Vena umbilicalis wurden von VOGEL u. Mitarb. (1965) und von FISCHER u. Mitarb. (1965) direkt gemessen und mit Hilfe der in dieser Arbeit dargestellten Nomogramme neu ermittelt. Die Werte für das endvillöse und endintervillöse Blut sind unter Annahme eines fetalen Kurzschlußblutanteiles von 25 % neu berechnet.

VIII. Zusammenfassung

In einer theoretischen Untersuchung werden die mannigfachen Beziehungen zwischen den verschiedenen Atemgasgrößen sowie dem pH - Wert im maternalen und fetalen Blut festgelegt und in Nomogrammform dargestellt. Den Ausgangspunkt bilden folgende Beziehungen, die aus den z. Zt. am besten gesicherten Daten der Literatur ermittelt werden:

1. die O_2 - Bindungskurven in Abhängigkeit vom pH - Wert,
2. die CO_2 - Äquilibriumskurven in Abhängigkeit von der O_2 - Sättigung
3. die CO_2 - Bindungskurven in Abhängigkeit vom O_2 - Druck bei vorgegebenem Basenüberschuß

Diese Beziehungen lassen sich zunächst in Form von Cartesianischen Nomogrammen zusammenfassen, aus denen dann Leiternomogramme konstruiert werden können.

Die beiden Leiternomogramme für das maternale und fetale Blut gelten jeweils für den Zeitpunkt der Geburt und stellen die wechselseitigen Abhängigkeiten von O_2 - Druck, O_2 - Sättigung, O_2 - Gehalt, CO_2 - Druck, CO_2 - Gehalt und pH dar. Ist von den drei erstgenannten und den drei letztgenannten Größen jeweils ein Wert bekannt, so können die restlichen vier Werte ohne besondere Rechnung aus den Nomogrammen entnommen werden.

Die Nomogramme dienen der Beurteilung des placentaren Gasaustausches sowie der fetalen Versorgungsbedingungen. Als Beispiel für die Anwendung werden unter Benutzung älterer Meßergebnisse sämtliche Blutgas- und pH - Werte in der A. uterina und am Ende der intervillösen Räume sowie in der A. umbilicalis, der V. umbilicalis und am Ende der villösen Kapillaren bestimmt.

IX. Literatur

- BARTELS, H.: Intra-uterine and extra-uterine respiration
Proc. Roy. Soc. Med. 59, 503 - 507 (1966)
- BAUER, Ch., M. LUDWIG, I. LUDWIG, and H. BARTELS: Factores governing the
oxygen affinity of human adult and foetal blood.
Respir. Physiol. 7, 271 - 277 (1969)
- DILL, D. B., A. GRAYBIEL, A. HURTADO und A. A. TAQUINI: Der Gasaustausch
in den Lungen im Alter
Z. Altersforsch. 2, 20 - 33 (1940)
- FISCHER, W. M., H. R. VOGEL und G. THEWS: Der Säure - Basen - Status und die
 CO_2 - Transportfunktion des mütterlichen und fetalen Blutes zum Zeitpunkt
der Geburt
Pflügers Arch. ges. Physiol. 286, 220 - 237 (1965)
- GROTE, J.: Atemgas - pH - Nomogramme für das normale menschliche Blut bei ver-
schiedenen Temperaturen.
In: Nomogramme zum Säure - Basen - Status des Blutes und zum Atemgas-
transport
Anaesthesiologie und Wiederbelebung 53, S. 47 - 83, Berlin, Heidelberg,
New York: Springer 1971
- HARMS, H. und H. BARTELS: CO_2 - Dissoziationskurven des menschlichen Blutes bei
Temperaturen von 5 - 37° C und unterschiedlicher O_2 - Sättigung
Pflügers Arch. ges. Physiol. 272, 384 - 392 (1961)
- HELLEGERS, A. E., and J. J. P. SCHRUEFFER: Nomograms and empirical equations
relating oxygen tension, percentage, and pH in maternal and fetal blood
Amer. J. Obstet. Gynec. 81, 377 - 383 (1961)
- HENDERSON, L. J.: Blood - a study in general physiology
Yale University Press p. 74 ff (1928)

- LEHMANN, V.: Individuelle Sauerstoff-Bindungskurven von Neugeborenenblut
Z. Geburtsh. Gynäk. 169, 146 - 157 (1968)
- LEHMANN, V.: Individuelle Sauerstoff-Bindungskurven und Säure-Basen-Status
des mütterlichen und fötalen Blutes zum Zeitpunkt der Geburt
Z. Geburtsh. Gynäk. 170, 14 - 21 (1969)
- MENGDEN, v., H. J., D. SCHULTEHINRICHS, and G. THEWS: Dependence of
plasma-pH on oxygen saturation
Respir. Physiol. 6, 151 - 159 (1969)
- SEVERINGHAUS, J. W.: Blood gas calculator
J. Appl. Physiol. 21, 1108 - 1116 (1966)
- SIGGAARD-ANDERSEN, O., and K. ENGEL: A new acid-base nomogramm. An
improved method for the calculation of the relevant blood acid-base data
Scand. J. clin. Lab. Invest. 12, 177 - 186 (1960)
- SIGGAARD-ANDERSEN, O.: Das geänderte Säure-Basen-Blut pH-log P_{CO_2} - Nomogramm
Scand. J. clin. Lab. Invest. 14, No. 6 (1962)
- SLYKE van, D. D., and S. H. LIU: Manometric analysis of gas mixtures.
III. Manometric determination of carbon dioxide tension and pH_s of blood
J. biol. Chem. 95, 547 (1932)
- THEWS, G., H. R. VOGEL und W. M. FISCHER: Zwei Nomogramme für die Atemgas-
größen und den Säure-Basen-Status des fetalen und des mütterlichen Blutes
Pflügers Arch. ges. Physiol. 286, 251 - 256 (1965 a)
- THEWS, G., W. M. FISCHER und H. R. VOGEL: Der Gasaustausch in der menschlichen
Placenta unter Berücksichtigung der wechselseitigen Abhängigkeit von O_2 -
und CO_2 - Transport
Pflügers Arch. ges. Physiol. 286, 257 - 274 (1965 b)

THEWS, G. und H. R. VOGEL: Atemgas-pH-Nomogramme für das maternale und fetale Blut zum Zeitpunkt der Geburt
In: Nomogramme zum Säure-Basen-Status des Blutes und zum Atemgas-transport
Anaesthesiologie und Wiederbelebung, 53, S. 109 - 130
Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1971

VOGEL, H. R., W. M. FISCHER und G. THEWS: Die O_2 -Transportfunktion des mütterlichen und fetalen Blutes zum Zeitpunkt der Geburt
Pflügers Arch. ges. Physiol. 286, 238 - 250 (1965)

WULF, H., H. GLASENAPP, H. R. VOGEL und W. M. FISCHER: Individuelle Sauerstoff-Bindungskurven von Nichtschwangeren-, Schwangeren- und Neugeborenenblut
Z. Geburtsh. Gynäk. 165, 252 - 267 (1966)

Hierdurch möchte ich Herrn Professor Dr. Dr. G. Thews für die Überlassung des Themas, für die Möglichkeit, diese Arbeit im Physiologischen Institut der Universität Mainz durchführen zu dürfen, sowie für seinen ständigen Rat und seine Hilfe danken.

Herrn Professor Dr. Dr. J. Grote danke ich für die Beratung bei der Berechnung und Aufstellung der Nomogramme.

Lebenslauf

Als Sohn des Hautarztes Josef Thomé und seiner Ehefrau Thea, geb. deMooy wurde ich am 19. Januar 1948 in Worms geboren. Ich habe vier Geschwister.

Von Ostern 1954 bis Ostern 1958 besuchte ich die ersten vier Klassen der Carmelitorschule in Worms und anschließend die ersten drei Klassen des Altsprachlichen Gymnasiums Worms.

Im November 1959 verstarb mein Vater durch einen Unfall. Ostern 1961 trat ich in das Internat des Staatlichen Gymnasiums (Aufbaugymnasium mit sozialkundlichem Zweig) in Kaiserslautern ein. Dort bestand ich im Oktober 1966 die Reifeprüfung. Von März 1967 bis März 1968 legte ich meine 12-monatige Dienstzeit als Wehrpflichtiger ab. Im Sommersemester 1968 begann ich in der Johannes Gutenberg - Universität in Mainz mein Medizinstudium. Die Naturwissenschaftliche Vorprüfung legte ich im März 1969 und die Ärztliche Vorprüfung im September 1970 ab. Das klinische Studium absolvierte ich bisher in den Universitäten von Mainz und Tübingen.

Nach dem Staatsexamen und der vorgeschriebenen einjährigen Medizinalassistentenzeit am Stadtkrankenhaus Worms strebe ich die Facharztausbildung in Kinderheilkunde mit besonderem Schwerpunkt auf dem Gebiet der Perinatalmedizin an.

Veröffentlichung der Dissertation in:
„Fortschritte der Perinatalen Medizin“
Herausg. E. Saling, K. A. Hüter
Verlag Thieme, Stuttgart
in Vorbereitung

